

Моделирование процессов перемангничивания в нанокристаллических пленках с однонаправленной магнитной анизотропией

Пушкарев Илья Александрович

Кулеш Никита Александрович, Горьковенко Александр Николаевич, Москалев Михаил Евгеньевич,

Лепаловский Владимир Николаевич, Васьяковский Владимир Олегович

Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина

Ilya.empire@gmail.com

Исследование тонких магнитных пленок представляет существенный интерес благодаря широкому спектру возможностей их применения, например, в носителях информации с высокой плотностью записи, устройствах спинтроники и т.д. Фундаментальный интерес связан с исследованием эффектов спиновой поляризации электрического тока, управлением с его помощью состоянием намагниченности, а также созданием и перемещением топологических магнитных структур. Особый интерес представляют многослойные пленки с эффектом обменного смещения, который возникает на интерфейсе между двумя различными магнитными структурами, как правило, между ферромагнетиком и антиферромагнетиком. Для эффекта обменного смещения или однонаправленной анизотропии характерны такие особенности, как асимметричность и сдвиг петли гистерезиса вдоль оси магнитного поля, эффект тренировки и т.д. Поскольку чаще всего рассматриваются поликристаллические пленочные системы, особое значение приобретает их структурное состояние и термическая обработка. Целью данной работы было описание экспериментальных данных, полученных на пленках системы FeMn/FM (FM = Fe, Ni, Co и их сплавы) при исследовании влияния отжига на их гистерезисные свойства пленок с помощью простых моделей в рамках приближения макроспина и микромагнитного моделирования.

Однослойные (Fe, Ni, Co и их сплавы) и двухслойные (FeMn/FM) пленки получены путем магнетронного распыления на покровные стекла Corning. Информация о кристаллической структуре была получена методом рентгеноструктурного анализа. Магнитные свойства пленок были измерены с помощью вибрационного магнитометра и магнитооптического Керр-микроскопа. Термическая обработка производилась в вакуумной камере в присутствии технического магнитного поля. Сравнивались образцы, отожженные при 200 °C и 400 °C. Для описания угловых зависимостей было использовано приближение макроспина, то есть учитывались лишь энергии в магнитном поле, одноосной наведенной анизотропии и обменного взаимодействия. Несмотря на то, что такая модель позволяет описывать только процессы однородного вращения намагниченности, с ее помощью удастся качественно описать некоторые особенности процессов перемангничивания, которые наблюдаются в реальных образцах (асимметрия петли гистерезиса, непараллельность оси наведенной анизотропии и направления однонаправленной анизотропии и т.д.). Для более строгого анализа, учитывающего неоднородные процессы перемангничивания и особенности структурного состояния двухслойной пленки было использовано микромагнитное моделирование. В настоящей работе мы использовали программный пакет *muMax3* [1] в котором реализована дискретизация методом конечных разностей. Для создания поликристаллического состояния было использовано независимое разбиение слоев по методу многогранников Воронова. Поскольку при использовании микромагнитного подхода нельзя задать истинное антиферромагнитное состояние, поэтому нами было использовано приближение, в котором антиферромагнитный слой был заменен ферромагнитным с отключенным обменным взаимодействием между кристаллитами, внешним полем, магнитостатическим взаимодействием [2].

Список публикаций:

[1] R. L. Stamps et al. *Physical Review B* 71(9) (2005), 094405

[2] J. De Clercq et al. *J Phys. D: Appl. Phys.* 49 (2016), 435001.

Магнитоакустический резонанс в слоистой структуре феррит-пьезоэлектрический биморф

Саплев Алексей Фёдорович

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого

Петров Владимир Михайлович, д.т.н.

Nightroud1991@yandex.ru

Наличие магнитоэлектрических (МЭ) свойств в слоистых феррит-пьезоэлектрических композитах обусловлено механическим взаимодействием между магнитной и электрической подсистемами. Магнитострикция феррита во внешнем магнитном поле вызывает поляризацию электрической подсистемы посредством пьезоэлектрического эффекта. В работах [1, 2] показано, что при соответствующих наборах

параметров имеет место гигантский скачок МЭ коэффициента по напряжению в области магнитоакустического резонанса. В указанных работах был исследован случай композита в форме пластинки, намагниченной перпендикулярно ее плоскости. В работе [2] был исследован касательно намагниченный композит в пренебрежении обменным полем.

В ходе работы был исследован МЭ коэффициент по напряжению в трехслойной структуре во внешнем магнитном поле, приложенным вдоль кристаллографической оси [100]. К структуре прикладывалось также малое переменное магнитное поле (рис.1). Образец расположен перпендикулярно оси x , т.е. внешнее переменное магнитное поле лежит в плоскости образца. Целью работы является нахождение магнитоэлектрического коэффициента по напряжению и исследование его зависимости от частоты и величины внешнего магнитного поля.

В качестве исходных используются уравнения движения намагниченности, уравнения движения ферритовой и пьезоэлектрической фаз, а также материальные соотношения для пьезоэлектрической и магнитной фаз [3-5].

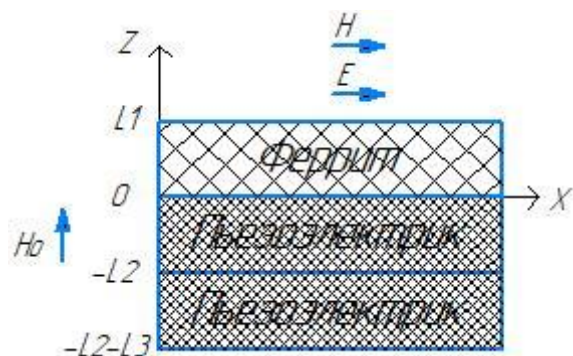


рис.1 Ориентация образца во внешнем магнитном поле

Результатами работы является:

- Получена теоретическая модель МЭ эффекта в слоистой структуре феррит-пьезоэлектрический биморф. Частота электромеханического резонанса электрической подсистемы пьезоэлемента соответствует частоте ферромагнитного резонанса феррита.
- Использование пьезоэлектрического биморфа позволяет наблюдать МЭ эффект в области наложения гармонических мод высших порядков и однородной прецессии намагниченности ферритовой компоненты, которые подавляются в феррит-пьезоэлектрических двухслойных структурах.
- Для структуры ЖИГ – биморфный ЦТС получено значительное увеличение МЭ коэффициента для 4 и 5 гармоник электромеханического резонанса по сравнению с МЭ эффектом в традиционных двухслойных структурах ЖИГ – ЦТС. На частоте 5 гармоники получено значение МЭ коэффициента по напряжению, равное 175 В/(см Э).
- Наблюдаемое явление можно использовать для изучения МЭ эффекта в области наложения частот магнитного резонанса и высших мод электромеханических колебаний образца, а также при разработке СВЧ устройств на основе МЭ эффекта.

Список публикаций:

- [1] Bichurin M.I., Petrov V.M., Ryabkov O.V. et al. // *Phys. Rev. B*. 2005. V. 72. P. 060408(R) (1-4).
- [2] Рябков О.В. // 11-я Всерос. науч. конф. студентов-физиков и молодых ученых: Тез. докл. Екатеринбург: Изд-во АСФ России, 2005. С.283-284.
- [3] Физическая акустика. Т.III, ч.Б. Динамика решетки / Под ред. У.Мэзона. М.: Мир, 1968. 392 с.
- [4] Бичурин М.И., Петров В.М., Рябков О.В. и др. // *Фундаментальные исследования*. 2005. № 3. С.27-29.
- [5] Тихонов А.Н., Васильева А.Б., Свешников А.Г. *Дифференциальные уравнения*. М.: Наука, 1998. 232 с.